

⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑪ DE 3540157 C2

⑬ Int. Cl. 4:  
G01S 17/10

(1)

- ⑯ Aktenzeichen: P 35 40 157.5-35  
⑯ Anmeldetag: 13. 11. 85  
⑯ Offenlegungstag: 21. 5. 87  
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 14. 7. 88

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑭ Patentinhaber:  
Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH, 8012  
Ottobrunn, DE

⑭ Erfinder:  
Manhart, Sigmund, Dipl.-Phys.; Dyrna, Peter,  
Dipl.-Phys., 8013 Haar, DE; Kunkel, Bernd,  
Dipl.-Phys., 8011 Kirchheim, DE

⑮ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 32 19 452 A1  
DE 32 19 423 A1  
DE 31 03 567 A1

⑯ Verfahren und Vorrichtung zur Entfernungsmessung nach dem Impulslaufzeitprinzip

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Distanz zu einem Objekt nach dem Laserradar-Impulsaufzeitprinzip, wobei zur Erzeugung sowohl der Start-Signale über Verzögerungsleitungen, als auch zur Erzeugung der Stop-Signale für die Laufzeitmessung des Laserimpulses nur ein einziger Empfangsdetektor verwendet wird, dadurch gekennzeichnet,
- daß ein erster Bruchteil des Lasersendesignals (erstes Referenzsignal) über eine erste optische Verzögerungsstrecke (22) (erste Referenzstrecke) und gleichzeitig ein zweiter Bruchteil des Lasersendesignals (zweites Referenzsignal) über eine zweite, optisch längere Verzögerungsstrecke (23) (zweite Referenzstrecke) direkt dem Empfangsdetektor (30) zugeführt und der Rest des Lasersendesignals zur Erzeugung eines Zieleschallsignals (ZS) verwendet wird, und
  - daß die Zeitdifferenz (Zielintervall) zwischen dem ersten Referenzsignal (Ref 1) und dem Zieleschallsignal (ZS) als Maß für die Zielenfernung und die Zeitdifferenz (Eichintervall) zwischen dem ersten Referenzsignal (Ref 1) und dem zweiten Referenzsignal (Ref 2) als Eichmaß verwendet wird und
  - daß die tatsächliche Zielenfernung aus dem Verhältnis der beiden Zeitintervalle ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nur ein Zeitauswertekanal verwendet wird und daß das Zielintervall und das Eichintervall in zeitlicher Auseinanderfolge gemessen werden und daß zur Unterscheidung des Zieleschallsignals (ZS) vom zweiten Referenzsignal (Ref 2) eine schnelle Umschaltung vorrichtung verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch Verwendung zweier Zeitauswertekanäle gleichzeitig das Zielintervall und das Eichintervall gemessen werden und die eindeutige Zuordnung durch unterschiedliche Zeitfenster erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vermeidung systematischer Fehler beide Auswertekanäle durch Umschaltung der Zeitfenster abwechselnd das Zielintervall und das Eichintervall bestimmen.
5. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die schnelle Umschaltung bzw. die Erzeugung der Zeitfenster rein elektronisch durch Schalten eines Zeittors erfolgt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zu messenden Zeitintervalle mit Hilfe eines hochfrequenten, nicht notwendigerweise quarzstabilisierten, Oszillators (46) ausgezählt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1—5, dadurch gekennzeichnet, daß die zu messenden Zeitintervalle durch an sich bekannte Zeidehn- und Meßverfahren (TAC, TTC u. a.) ausgewertet werden und daß die implementierten Referenzströme bzw.-spannungen nicht stabilisiert sind.
8. Laserimpulsradarsystem zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, wobei ein Teil des Lasersendesignals ausgetrennt und über Verzögerungsleitungen auf den Empfangsdetektor gekoppelt ist, dadurch gekennzeichnet, daß zwei parallele Verzögerungsstrecken (22; 23) aus unterschiedlich langen Lichtwellenleitern bestehen, wobei die erste optische Verzögerungsstrecke (22) kurz, die zweite (23) aber optisch länger als die doppelte Zielenfernung ist, so daß das Zieleschallsignal (ZS) zeitlich immer zwischen den beiden Referenzsignalen (Ref 1; Ref 2), die über die Verzögerungsleitungen (22; 23) zum Detektor gelangen, liegt.
9. Laserimpulsradarsystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß sendeseitig eine zusätzliche Verzögerungsleitung (14) zwischen den Kopplern (12; 13) für die beiden Referenzsignale Ref 1, Ref 2) und einer Sendeoptik (15) eingefügt ist, so daß das Zieleschallsignal (ZS) für jeden Zielabstand immer später als beide Referenzsignale (Ref 1, Ref 2) am Detektor eintrifft.
10. Laserimpulsradarsystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß empfängerseitig eine zusätzliche Verzögerungsleitung zwischen einer Empfangsoptik (35) und den Kopplern (32; 33) eingefügt ist, so daß das Zieleschallsignal (ZS) für jeden Zielabstand immer später als beide Referenzsignale (Ref 1, Ref 2) am Detektor eintrifft.

50

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Messung der Distanz zu einem Objekt nach dem Laserradar-Impulsaufzeitprinzip, wobei zur Erzeugung sowohl der Start-Signale über Verzögerungsleitungen als auch zur Erzeugung der Stop-Signale für die Laufzeitmessung nur ein einziges Detektorelement verwendet wird.

Die Erfindung bezieht sich auch auf ein Laserradarimpulssystem zur Durchführung des Verfahrens. Bei Laserentfernungsmessern wird die Entfernung zu einem Zielobjekt aus der Laufzeit eines modulierten Lasersignals vom Meßgerät zum Zielobjekt und zurück zum Meßgerät bestimmt. Die Zeitdifferenz  $\Delta T$  zwischen Aussenden des Lasersignals und Empfang des vom Zielobjekt reflektierten Signals ist ein direktes Maß für die Entfernung  $D$  zum Zielobjekt:

$$D = \frac{c}{2 n_0} \Delta T.$$

65  $c$  ist dabei die Vakuumlichtgeschwindigkeit,  $n_0$  der Brechungsindex des Übertragungsmediums ( $c = 299793$  km/s,  $n_0 \approx 1,0003$  für Normalatmosphäre).

Zur genauen Entfernungsbestimmung ist eine präzise Zeitintervallmessung erforderlich. So entspricht beispielweise eine Änderung der Zielenfernung um 1 mm einer Laufzeitänderung von nur 6.7 ps. Gewöhnlich

werden Maßnahmen zur Meßgrößenumwandlung ergriffen, damit die erforderliche Zeitauflösung erreicht werden kann. Entweder wird das zu messende Zeitintervall durch elektronische Verfahren gestreckt oder in eine andere, leichter zu erfassende Meßgröße umgewandelt. Im folgenden sind einige bekannte Verfahren aufgeführt:

Bei kontinuierlich modulierten Strahlungsquellen wird die Phasenlage des Sendesignals mit der Phasenlage des Empfangssignals verglichen. Die Zeitdehnung erfolgt durch Mischen beider Signale mit einem Lokaloszillatortignal, dessen Frequenz gegenüber der Sende Frequenz geringfügig verschoben ist. Die Zwischenfrequenzen beim Sendesignal und beim Empfangssignal weisen dieselbe Phasendifferenz auf wie die Originalfrequenzen. Somit wird mit Hilfe der Frequenzmischung eine Zeitdehnung um das Verhältnis Sende Frequenz/Zwischenfrequenz erzielt.

Bei der Einzelpulsmessung erfolgt die Laufzeitbestimmung häufig dadurch, daß während des zu messenden Zeitintervalls ein Kondensator mit konstantem Strom geladen wird. Nach Beendigung der Ladezeit wird der Ladezustand entweder direkt über die anliegende Spannung gemessen (TAC = time-to-amplitude conversion = Zeitamplituden-Umwandlung), oder der Kondensator wird anschließend mit einem konstanten, aber wesentlich geringeren Strom wieder entladen, wobei die Entladzeit einer Dehnung der Ladezeit und damit einer Streckung des zu messenden Zeitintervalls entspricht (TTC = time-to-time conversion = Zeit-Zeit Umwandlung).

Bei allen Verfahren, die eine präzise Entfernungsbestimmung zum Ziel haben, wird ein einziger Detektor und Vervorstärker sowohl für das ausgehende Signal (Referenz- oder Start-Signal) als auch für das reflektierte Zielsignal (Meß- oder Stop-Signal) verwendet, damit die elektronischen Verzögerungen im Detektor und Vervorstärker für beide Signale gleich sind. Näheres dazu ist beispielsweise aus EP 00 57 447 A1 zu entnehmen.

Die bekannten Verfahren weisen jedoch einige Nachteile auf. So muß bei kontinuierlicher Signalmodulation zwischen zwei optischen Meßstrecken, nämlich der Zielleiste und der Referenzmeßstrecke, umgeschaltet werden. Die Umschaltung, die mechanisch oder elektrooptisch erfolgt, beeinflußt die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer. Darüberhinaus erfordert eine genaue Phasemessung relativ lange Meßzeiten.

Bei der Pulslaufzeitmessung einfällt die mechanische oder elektrooptische Meßkanalumschaltung, da das Referenzsignal und das vom Zielsektor reflektierte Signal zeitlich unterschiedlich am Detektor eintreffen und die Umschaltung auf rein elektronische Weise durch Setzen eines Zeitors oder mehrerer Zeitoren direkt in der Signalauswerte-Schaltung erfolgen kann. Das Zeitintervall zwischen Referenz- und Zielsignal kann nun – wie oben dargelegt – auf verschiedene Weise gemessen werden, entweder durch Zeit-Amplituden-Umwandlung (TAC) oder durch eine Zeitdehnungsschaltung (TTC).

Die TAC-Auswertung ist ungenau aufgrund der mangelnden Ladesstromkonstanz, der Temperaturabhängigkeit der Kondensatorkapazität, des Kondensatorleckstroms und der Instabilität der Komparatorschwellen.

Die Genaugkeit der TTC-Auswertung ist beschränkt durch die Ungenauigkeit des Lade- und Entladesstroms und durch die Temperaturabhängigkeit der Schaltschwelle. Weiterhin ist für die Ausmessung des gestreckten Zeitintervalls eine genaue Zeitbasis erforderlich, die üblicherweise durch einen Quarzoszillator festgelegt wird. Quarzoszillatoren sind in ihrer Frequenz jedoch nach oben beschränkt, so daß der Quantisierungsfehler bei der Digitalisierung des Meßintervalls merklich eingeht.

Vorteilhaft wäre eine sehr hohe Oszillatorkonstante; die Stabilisierung von Hochfrequenzoszillatoren verursacht jedoch einen nicht unerheblichen Schaltungsaufwand; eine dauernde Nacheichung der Frequenz ist für präzise Messungen unerlässlich.

Es ist das Ziel der Erfundung, unter Beseitigung der genannten Nachteile ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Entfernungsmessung zu schaffen, die eine Erhöhung der Meßgenauigkeit bei geringerer Störanfälligkeit und bei geringerem apparativem Aufwand bieten.

Gemäß der Erfundung wird dies dadurch erreicht,

- daß ein erster Bruchteil des Sendesignals über eine erste optische Verzögerungsstrecke (erste Referenzstrecke) und gleichzeitig ein zweiter Bruchteil des Sendesignals über eine zweite, optisch längere Verzögerungsstrecke (zweite Referenzstrecke) direkt dem Empfangsdetektor zugeführt und der Rest des Sendesignals zur Erzeugung des Zielsignals verwendet wird, und
- daß die Zeitdifferenz zwischen dem ersten Referenzsignal und dem Zielsignal als Maß für die Zielenfernung und die Zeitdifferenz zwischen dem ersten Referenzsignal und dem zweiten Referenzsignal als Eichmaß verwendet wird und
- daß die tatsächliche Zielenfernung aus dem Verhältnis der beiden Zeitintervalle ermittelt wird.

Durch die unterschiedliche Länge der Verzögerungsstrecken treffen die entsprechenden Signale zu verschiedenen Zeiten am Detektor ein. Somit ist bei jeder Messung durch die beiden Referenzsignale ein festes Zeitintervall, das der optischen Weglängendifferenz aus beiden Verzögerungsstrecken entspricht, vorzubereiten. Das feste Zeitintervall zwischen beiden Referenzsignalen entspricht exakt einer Eichstrecke, gebildet aus der optischen Wegdifferenz zwischen beiden Referenzstrecken; es entfällt die Notwendigkeit einer genauen und stabilen Zeitbasis.

Einzelheiten der Erfundung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der Beschreibung, worin im Folgenden anhand der Zeichnung ein Ausführungsbeispiel beschrieben wird. Es zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Aufbaus einer Anordnung gemäß der Erfundung.

Fig. 2 ein Diagramm der bei deren Betrieb erzeugten Signale,

Fig. 3 ein Blockschaltbild zur Erzeugung des Zeitintervalls und der Zeitorte beim Gegenstand nach Fig. 1 und

Fig. 4 eine schematische Darstellung zu einem Ausführungsbeispiel.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung des Aufbaus einer Anordnung gemäß der Erfundung. Die bei

dessen Betrieb erzeugten Signale sind in Fig. 2 dargestellt.

Das von einem Lasersender 10 entsprechend dem Takt eines Takgeber 16 abgestrahlte Signal wird über eine Lichtleitfaser 11 zu einem Koppelement 12 geführt, wo ein geringer Bruchteil des Sendesignals abgespalten und über eine zugehörige Verzögerungsleitung 22, ein Koppelement 32 und eine Empfängerlichtleitfaser 31 direkt zu einem Detektor 30 gelangt. Der Großteil des Sendesignals läuft vom Koppelement 12 weiter zu einem weiteren Koppelement 13, wo wiederum ein geringer Teil des Signals abgespalten und über eine weitere, längere Verzögerungsleitung 23, ein Koppelement 33 und eine weitere Lichtleitfaser 31 wiederum zum Detektor 30 gelangt. Das verbleibende Sendesignal läuft weiter über eine Verzögerungsleitung 14 zu einer Sendeoptik 15, die den Laserstrahl in Richtung Zielobjekt (nicht dargestellt) bündelt. Das reflektierte Zielsignal 10 gelangt über eine Empfangsoptik 35 und den Lichtleiter 31 ebenfalls zum Detektor 30.

Es erscheinen pro Messung also drei aufeinanderfolgende Signale, nämlich das erste Referenzsignal *Ref1* über den Lichtleiter 22, das zweite Referenzsignal *Ref2* über den Lichtleiter 23 und das Zielsignal *ZS*.

Je nach Länge der Verzögerungsleitungen 22, 23 und 14 erscheint das Zielsignal *ZS* entweder zwischen den beiden Referenzsignalen *Ref1* und *Ref2* oder nach den beiden Referenzsignalen. Das Zeitintervall zwischen *Ref1* und *ZS* stellt ein Maß für die Zielerfahrung dar; das Zeitintervall zwischen *Ref1* und *Ref2* 15 hingegen ist ein Maß für die optische Eichstrecke.

Die Zielerfahrung wird gewonnen durch Verhältnisbildung des Zielerfahrungswerts zum Eichintervall. Zur Realisierung der Messung werden vom Senderkator 16 Zeitfenstersignale abgeleitet. Zwei Pulsdiskriminatoren 41 und 42 werden für die benötigten Detektorsignale durch die Zeitfenstersignale aktiviert. Der Diskriminator 41 spricht 20 immer auf das *Ref1*-Signal an, Diskriminator 42 abwechselnd auf das Zielsignal *ZS* und auf das *Ref2*-Signal.

In Fig. 3 ist ein Ausführungsbeispiel für die Erzeugung des Zeitintervalls für den Pulsdiskriminator 41 zur *Ref1*-Auswertung und für die Erzeugung des alterniernd auf *Ref2* und Zielerfahrung umschaltenden Zeitintervalls für den zweiten Pulsdiskriminator 42 dargestellt. Dabei ist mit *PF* ein bistabiler Multivibrator (Flip-Flop) bezeichnet. Die Zeitkonstanten der letzteren drei sind unabhängig voneinander den jeweiligen Meßanforderungen entsprechend eingestellt:

$$D_Z = \frac{C}{2\pi} \cdot \frac{n_Z}{f_0} \cdot \frac{1}{k} \quad \text{und}$$

$$35 \quad D_R = \frac{C}{2\pi} \cdot \frac{n_R}{f_0} \cdot \frac{1}{k}.$$

Die absolute Zielerfahrung *D* wird anschließend durch Division des digitalen Zielerfahrungswertes *nZ* durch den 40 ebenfalls digitalen Referenzwert *nR* und durch Multiplikation des Ergebnisses mit dem Wert der optischen Eichstrecke *D<sub>0</sub>* ermittelt:

$$D = \frac{D_Z}{D_R} \cdot D_0 = \frac{n_Z}{n_R} \cdot D_0.$$

45

Durch diese fortlaufende Kalibration auf eine feste optische Strecke kommen die sonst unvermeidlichen systematischen Fehler durch Stromschwankungen in der Zeitdehnschaltung und durch Instabilitäten der Zeitbasis nicht zur Auswirkung.

50 Die Zeitfensternutzschaltung für den Diskriminator 42 erfolgt rein elektronisch. Die Diskriminatoren sind im einfachsten Fall bei hohen Signalpegeln als Schwellendiskriminatoren, oder als "zero crossing", oder als "constant fraction" Diskriminatoren ausgeführt.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Zahlenbeispieles noch weiter erläutert. Bei Werten für

55	Laser Pulsfolgefrequenz	10 kHz
	Laser Pulsbreite	1 ns
	Verzögerungsleitung 22	<i>L<sub>22</sub></i>
	Verzögerungsleitung 23	<i>L<sub>23</sub></i>
60	optische Eichstrecke	<i>L<sub>0</sub></i>

1 m Lichtleiter (*n* = 1.5)  
1 m Lichtleiter (*n* = 1.5)  
49 m Lichtleiter (*n* = 1.5)  
36 m

$$L_0 = 1/2 (L_{23} - L_{22}) \cdot n$$

$$Verzögerungsleitung 14 : L_{14} \quad 5 m \text{ Lichtleiter } (n = 1.5)$$

65 ergibt sich eine Anordnung nach Fig. 4 für den Meßbereich. Mit dieser Anordnung kann von 0 bis 30 m Zielfeldlänge gemessen werden; das feste Zeitintervall *Ref1* - *Ref2* dient als 36 m lange Eichstrecke.

Wird eine Zeitdehnschaltung mit dem Dehnfaktor *K* = 300 (Kondensatorladestrom 3 mA, Entladestrom 10  $\mu$ A) und ein Oszillator mit *f<sub>0</sub>* = 500 MHz zur Auswertung verwendet, so beträgt rechnerisch die Genauigkeit

der Einzelmessung:

$$\Delta D = \frac{c}{2 n_s} \cdot \frac{l}{f_n} \cdot \frac{l}{k} = 1 \text{ mm.}$$

5

Aufgrund statistischer Schwankungen in den Pulskriminatoren, dem bistabilen Multivibrator und der Zeitdehnung ist die Stabilität der Einzelmessung mit z. Z. verfügbaren Bauteilen auf ca. 30 ps beschränkt, so daß in Realität die Einzelmessgenauigkeit nicht besser als 5 mm ist. Da die systematischen Fehler durch die Erfahrung weitgehend eliminiert werden, können durch Mittelwertbildung über beispielsweise 100 Messungen die statistischen Fehler so reduziert werden, so daß nach einer Meßzeit von 10 ms ein sicherer Meßwert mit einem Millimeter Genauigkeit gewonnen werden kann.

10

Wird in die Verzögerungsleitung 23 ein optischer Schalter eingefügt, so kann für größere Entfernungen das Signal *Ref 2* abgeschaltet und die Laufzeitintervallmessung zwischen *Ref 1*-Signal und Zielsignal *ZS* in konventioneller Weise durchgeführt werden. Zur Erhöhung der Meßgenauigkeit kann hierfür der Oszillator an eine Quarzreferenz angeknüpft werden.

15

Das erfundungsgemäße Verfahren ist aber auch für große Meßstrecken anwendbar. Hierbei wird zweckmäßigweise die Verzögerungsleitung 14 länger gewählt als 22 und 23. Die Signale *Ref 1* und *Ref 2* erscheinen dann zeitlich vor dem Zielsignal *ZS* am Detektor 30, und zwar selbst bei einer Zielerfahrung Null.

20

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

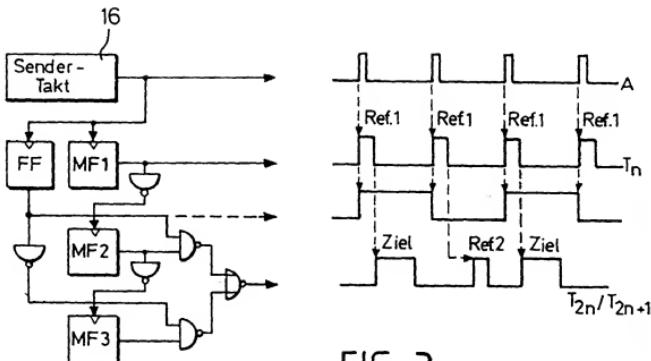


FIG. 3

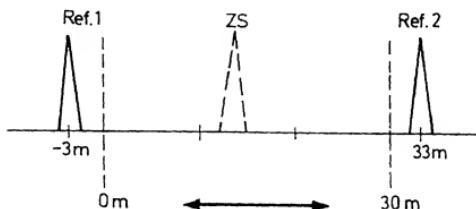


FIG. 4

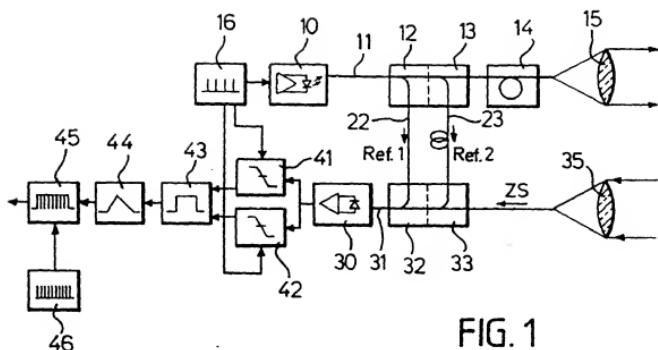


FIG. 1

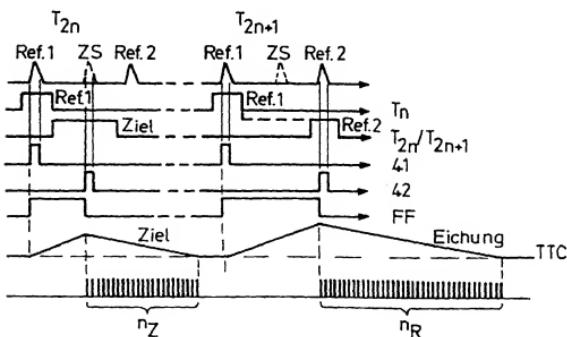


FIG. 2